“复杂地质条件下穿越中心城区土压平衡盾构施工关键技术应用及推广”

2020年度湖南省科学技术奖提名公示内容

**一、项目名称**

复杂地质条件下穿越中心城区土压平衡盾构施工关键技术应用及推广

**二、提名意见**

该项目系统开展复杂地质条件下穿越中心城区土压平衡盾构施工关键技术应用及推广，取得较大收获：

（1）本课题提出了适合角砾岩地层的盾构隧道渣土改良用泡沫剂配合比，确保了在长距离角砾岩层中盾构隧道顺利掘进。

（2）本课题基于神经网络预测方法，首次对角砾岩地层中盾构机运行轨迹进行了预测，为盾构隧道掘进参数的优化和调整提供了依据。

（3）本课题通过理论分析、数值模拟和现场试验等手段，系统构建了上跨下穿复杂环境的盾构掘进成套技术。

课题研究取得发明专利5项，实用新型专利2项，计算机软件著作权2项。获得2017 年度中国施工企业管理协会科学技术进步奖二等奖 1 项、第二届湖北省土木建筑科学技术奖三等奖2 项、中国公路建设行业协会公路工程科技创新成果二等奖 2 项、三等奖 4 项。

成果在武汉市轨道交通 6 号线工程第三标段土建工程、武汉市轨道交通 7 号线工程第十三标段土建工程实施和应用，取得良好的效益。

经审核，该课题相关内容填写符合要求，满足湖南省科学技术进步奖授奖条件。

**三、项目简介**

武汉地铁六号线三标包含2个盾构区间，双线总长2.9km，两台土压平衡盾构机总计需要完成4次始发、4次接收、2次过站；分别穿越黏土、富水角砾、浅覆盖淤泥等地层，盾构区间穿越的地层存在上软下硬的特点，盾构参数控制难度大；穿越小间距叠交隧道（间距2.87m）；多次下穿重要管线群（DN2000污水管距离隧道顶仅3m），盾构施工沉降变形控制要求高等诸多技术难点。

武汉市地铁七号线十三标武昌火车站至瑞安街站盾构区间（以下简称武~瑞区间），本区间从瑞安街站始发，下穿武客技走2号线，随后下穿江宏新村小区、铁路小区、城投大桥管理用房、京广铁路，侧穿鹦鹉洲大桥桩基，然后下穿雄楚大街通道、719中国船舶研究所；下穿中山路隧道后逐渐侧穿武昌火车站西广场地下空间围护及主体结构，最后沿中山路西侧北行达到七号线武昌火车站，左线长链69.021m，右线长链71.736m，区间单线长度约为1655m。具有施工环境复杂、下穿成片的老旧建筑物、下穿铁路、穿越岩溶地层等诸多难点。

课题主要研究内容如下：

（1）角砾层及复杂地层中盾构隧道渣土改良技术；

（2）不同地质条件下的隧道注浆浆液配比设计；

（3）角砾地层中盾构机运行轨迹的神经网络预测与操作参数优化；

（4）岩溶发育区土压平衡盾构施工风险防范和关键技术；

（5）小间距叠交隧道盾构施工技术；

（6）土压平衡盾构连续穿越老旧房屋基础引起的沉降控制技术；

（7）土压平衡盾构穿越多股道铁路关键技术。

项目研究取得技术发明专利5项，实用新型专利2项。

角砾层及复杂地层中盾构隧道碴土改良技术研究降低泡沫剂使用费用比例为25%；小间距叠交隧道盾构施工技术研究节省投资比例为18.86%；不同地质条件下的隧道注浆浆液配比研究每环降低浆液成本比例为5.4%。

**四、客观评价**

**1、科技查新结论**

2019年7月4日，在中国科学院武汉科技查新咨询检索中心开展了项目查新，其主要查新点如下：

（1）角砾层及复杂地层中盾构隧道渣土改良技术

采用大型直剪仪和搅拌法开展泡沫改良角砾和粘土的塑流性室内试验研究，分析不同配比的混合土体，在不同含水率、不同泡沫掺入比以及不同泡沫剂浓度条件下，测定土体泡沫改良前后塌落度值。

（2）角砾地层中盾构机运行轨迹的神经网络预测与操作参数优化

根据不同角砾区段地质条件下的设计线路坡度、平面曲线曲率和隧道管片拼装线路的各项参数，利用神经网络较强的非线性映射能力，建立影响因素与管片偏位之间的神经网络预测模式，借以优化施工参数。

（3）盾构机连续穿越老旧房屋基础与穿越多股道铁路技术研究

通过建立变形预测模型与三维有限元模型，对动荷载和施工耦合作用下土体变形机理分析借以优化盾构机连续穿越老旧房屋基础与穿越多股道铁路时施工参数并加强控制措施。

经综合对比分析可知，发现除委托方研究成果的报道外，该查新项目的创新点在国内外相关文献中尚未发现相同报道。

**2、技术鉴定意见**

2019年8月 27日，北京市住房和城乡建设委员会组织并主持召开了“复杂地质条件下穿越中心城区土压平衡盾构施工关键技术研究”科技成果鉴定会，鉴定委员会听取了课题组的汇报，审查了相关技术文件，经过质询和讨论，形成如下鉴定意见：

（1）提供的资料齐全，翔实，符合鉴定要求。

（2）主要创新性成果：

1）研发了一种用于盾构施工渣土改良试验的多孔发泡喷头，提出了适合角砾岩地层的盾构隧道渣土改良用泡沫剂配合比，确保了在长距离角砾岩层中盾构隧道顺利掘进。

2）基于神经网络预测方法，首次对角砾岩地层中盾构机运行轨迹进行了预测，为盾构隧道掘进参数的优化和调整提供了依据。

3）通过理论分析、数值模拟和现场试验等手段，系统构建了上跨下穿复杂环境的盾构掘进成套技术。

研究成果在武汉市轨道交通多个项目中得到成功应用，经济、社会及环境效益显著。研究成果总体达到国际先进水平。

**五、推广应用情况**

研究成果在武汉地铁6号线第三标段和武汉地铁7号线第十三标段分别实施、推广和应用，共计节省890.4万元，利用本项目的研究成功解决了小间距叠交隧道施工、不良地层的土压平衡盾构、复杂地质条件下中心城区盾构施工下穿城市老旧建筑物、多股道京广铁路和盾构穿越岩溶发育区地层施工中遇到的技术难题。取得了良好的社会、技术、经济和环境效益，同时发表了高水平科研论文和培养了技术人才。

1. **主要知识产权和标准规范等目录**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 知识产权（标准）类别 | 知识产权（标准）具体名称 | 国家  （地区） | 授权号（标准编号） | 授权（标准发布）日期 | 证书编号 （标准批准发布部门） | 权利人（标准起草单位） | 发明人（标准起草人） | 发明专利（标准）有效状态 |
| 发明专利 | 一种用于盾构施工中渣土改良试验的多孔发泡喷头 | 中国 | CN 106216122 B | 2018年09月28日 | 证书号第3090484号 | 中交一公局桥隧工程有限公司 | 叶钟文、周思峰、李英伟、王小云、程勇 | 有效专  利 |
| 发明专利 | 离散式盾构机渣土改良系统 | 中国 | CN 108661660 B | 2019年10月18日 | 证书号第3560242号 | 中交一公局集团有限公司、中交一公局桥隧工程有限公司 | 王小云、易辉、殷华斌、李英伟、郭伟 | 有效专  利 |
| 发明专利 | 一种盾构土体改良泡沫稳定性评价装置及评价方法 | 中国 | ZL 2016  1 0261686.9 | 2017年10月27日 | 证书号第2673678号 | 中国科学院武汉岩土力学研究所 | 刘世伟、冷先伦、盛谦、李健贺、周兴伟 | 有效专  利 |
| 发明专利 | 一种土压盾构施工中土体泡沫改良剂性能测试设备 | 中国 | CN 105699610 B | 2018年07月06日 | 证书号第  2992383号 | 中国科学院武汉岩土力学研究所 | 冷先伦、刘世伟、盛谦 | 有效专  利 |
| 发明专利 | 一种沿盾构机纵向截面进行调整的刀盘翻转装置 | 中国 | CN 108194092 B | 2019年10月18日 | 证书号第3560425号 | 中交一公局集团有限公司、中交一公局桥隧工程有限公司 | 易辉、周思峰、叶钟文、王小云、刘玉龙 | 有效专  利 |
| 实用新型  专利 | 应用于盾构接收端的降水井结构 | 中国 | CN 208122856 U | 2018年11月20日 | 证书号第8105920号 | 中交一公局桥隧工程有限公司、中交第一公路工程局有限公司 | 刘勇、周思峰、余昌平、杜国涛、邹中波、于  新山 | 有效专  利 |
| 实用新型  专利 | 一种应用于洞门钢环钢套筒上的安装结构 | 中国 | CN 208122857 U | 2018年04月08日 | 证书号第8106626号 | 中交一公局桥隧工程有限公司、中交第一公路工程局有限公司 | 滕卓然、于新山、周思峰、刘勇、杜国涛、邹中波、余昌平 | 有效专  利 |
| 计算机软件著作 | 盾构施工土压平衡管理系统V1.0 | 中国 | 2018SR730827 | 2017年05月12日 | 软著登字第3059922号 | 中交第一公路工程局有限公司、中交一公局桥隧工程有限公司 | 中交第一公路工程局有限公司、中交一公局桥隧工程有限公司 | 其他有  效的知  识产权 |
| 计算机软件著作 | 城市浅埋盾构隧道安全施工系统V1.0 | 中国 | 2019SR1013607 | 2019年05月25日 | 软著登字第4434364号 | 中交一公局集团有限公司、中交一公局桥隧工程有限公司 | 中交一公局集团有限公司、中交一公局桥隧工程有限公司 | 其他有  效的知  识产权 |
| 论文 | 基于p-q法的盾构同步注浆调控程序研究 | 中国 | ISSN 1002-0268 | 2016年12月15日 | 《公路交通科技(应用技术版)》2016年第12期 | 中交一公局桥隧工程有限公司 | 叶钟文、郭伟、李懿哲 | 其他有  效的知  识产权 |

**七、主要完成人情况**

完成人汲红旗为项目总体负责人，是课题的第1完成人，在主要科技创新的创新点1、2、3研究过程中，负责项目总体研究方向制定、科技创新规划与研究协调工作，对所有创新点均有贡献。从事本研究的工作量占全部工作量的100%。

完成人周思峰负责本项目推广应用的规划与实施人，是课题的第2完成人，在主要科技创新的创新点1、2、3研究过程中，作为骨干研究人员参与应用的具体研究路线、项目建设、应用推广等。从事本研究的工作量占全部工作量的100%。

完成人余昌平是项目合作单位负责人，在主要科技创新的创新点1、2、3研究过程中，负责项目总体研究方向制定、科技创新规划与研究协调工作，是课题的第3完成人，从事本研究的工作量占全部工作量的100%。

完成人王小云在主要科技创新的创新点1、2、3研究过程中，负责本项目推广应用的规划与实施，是课题的第4完成人，作为骨干研究人员参与项目建设、应用推广等。从事本研究的工作量80%。

完成人冷先伦是项目合作单位负责人，在主要科技创新的创新点1、2、3研究过程中，主要负责课题的现场数据采集，土工试验等。是课题的第5完成人，从事本研究的工作量70%。

完成人黄斌是项目合作单位负责人，在主要科技创新的创新点1、2、3研究过程中，主要负责课题的研究顾问、数据收集、数据分析，成果总结等。是课题的第6完成人，从事本研究的工作量60%。

完成人叶钟文作为课题组成人员参加项目研究，是课题的第7完成人，在主要科技创新的创新点1、2、3研究过程中，提供了丰富的研究资料，对研究报告编写提出了合理建议，贡献率达60%。

完成人刘世伟作是项目合作单位科研人员助理，在主要科技创新的创新点1、2、3研究过程中，协助冷先伦完成了项目现场数据采集，土工试验等。是课题的第8完成人，贡献率达50%。

完成人杜国涛作为课题组成人员参加项目研究，是课题的第9完成人，在主要科技创新的创新点3研究过程中，对项目实施进行了有利协助，贡献率达40%。

**八、主要完成单位及创新推广贡献**

中交一公局桥隧工程有限公司，第一完成单位，负责制定项目详细研究方案和计划，组织研究人员及时开展科研工作；负责项目调研、地质资料和施工资料的收集；负责进行盾构过区间风井施工工艺研究、盾构机在角砾地层中的推进控制技术研究、小间距叠交隧道盾构施工技术研究、复合地层盾构施工同步注浆施工技术研究、盾构机下穿连续的城市老旧建筑物施工技术研究、盾构机下越多股道京广铁路施工技术研究、岩溶发育区的土压平衡盾构机施工技术研究，负责提出具体实施方案，经过审批后实施；负责典型工点现场监测结果分析 ；负责有关分项研究报告及总报告的编写。 中交一公局桥隧工程有限公司是项目研究具体实施方，对研究成果的产出起着至关重要的作用。

中交一公局集团有限公司 ，第二完成单位，负责本科技创新项目的立项，总体筹备筹划，监督项目研究全过程， 对研究提供指导性意见，依据工程项目的工程特点和施工难点，协助中交一公局桥隧公司项目展开角砾层及复杂地层中盾构隧道渣土改良技术、不同地质条件下的隧道注浆浆液配比设计、角砾地层中盾构机运行轨迹的神经网络预测与操作参数优化、岩溶发育区土压平衡盾构施工风险防范和关键技术、小间距叠交隧道盾构施工技术、土压平衡盾构连续穿越老旧房屋基础引起的沉降控制技术土压平衡盾构穿越多股道铁路关键技术等研究，并进行研究成果审阅。督促桥隧公司项目部与武汉理工大学一起对复杂地质条件下穿越中心城区土压平衡盾构施工关键技术应用及推广项目进行合作研究，并形成最终研究报告，并对报告进行审阅，完成最终成果的科研验收。

中国科学院武汉岩土力学研究所，第三完成单位，负责协助主要完成单位中交一公局桥隧工程有限公司、中交一公局集团有限公司，对相关6个子课题：不同地层隧道浆液配比、角砾层及复杂地层中盾构隧道渣土改良、角砾地层中盾构机运行轨迹的神经网络预测与操作参数优化、小间距叠交隧道盾构施工、注浆工艺流程注浆质量和注浆量的控制程序、盾构机在角砾地层中的推进控制的土工学实验，辅助主要完成单位中交一公局桥隧工程有限公司、中交一公局集团有限公司进行课题的施工现场应用。

武汉理工大学，第四完成单位，负责协助主要完成单位中交一公局桥隧工程有限公司、中交一公局集团有限公司，对相关6个子课题：不同地层隧道浆液配比、角砾层及复杂地层中盾构隧道渣土改良、角砾地层中盾构机运行轨迹的神经网络预测与操作参数优化、小间距叠交隧道盾构施工、注浆工艺流程注浆质量和注浆量的控制程序、盾构机在角砾地层中的推进控制的技术支持、数据分析、模拟等，研究成果的申报协助，辅助主要完成单位中交一公局桥隧工程有限公司、中交一公局集团有限公司进行课题的施工现场应用。

**九、主要完成人合作关系说明**

合作1：土压平衡盾构施工成套技术研究，合作方式为共同获奖，证明材料见附件11，合作者为：汲红旗、周思峰、余昌平、黄斌、冷先伦、叶钟文、王小云。

合作2：角砾地层中盾构机运行轨迹的神经网络预测与操作参数优化研究，合作方式为共同获奖，证明材料见附件12，合作者为：汲红旗、周思峰、叶钟文、王小云。

合作3：复合地层条件下的隧道注浆浆液配比研究，合作方式为共同获奖，证明材料见附件14，合作者为：汲红旗、周思峰、叶钟文、王小云。

合作4：角砾层及复杂地层中盾构隧道渣土改良技术研究，合作方式为共同获奖，证明材料见附件15，合作者为：汲红旗、周思峰、叶钟文、王小云。

合作5：小间距叠交隧道盾构施工技术研究，合作方式为共同获奖，证明材料见附件16，合作者为：汲红旗、周思峰、叶钟文、王小云。

合作6：角砾层及复杂地层中盾构隧道渣土改良技术研究，合作方式为共同获奖，证明材料见附件18，合作者为：汲红旗、周思峰、叶钟文、王小云。

合作7：小间距叠交隧道盾构施工技术研究，合作方式为共同获奖，证明材料见附件19，合作者为：汲红旗、周思峰、叶钟文、王小云。

合作8：复合式土压平衡盾构机下穿城市老旧建筑物基础施工技术，合作方式为共同获奖，证明材料见附件13，合作者为：周思峰、杜国涛。

合作9：土压平衡盾构机穿越多股道京广铁路关键技术研究，合作方式为共同获奖，证明材料见附件17，合作者为：周思峰、杜国涛。

合作10：一种用于盾构施工中渣土改良试验的多孔发泡喷头，合作方式为共同知识产权，产出为发明专利，证明材料见附件1，合作者为：叶钟文、周思峰、王小云。

合作11：一种盾构土体改良泡沫稳定性评价装置及评价方法，合作方式为共同知识产权，产出为发明专利，证明材料见附件3，合作者为：刘世伟、冷先伦。

合作12：一种土压盾构施工中土体泡沫改良剂性能测试设备，合作方式为共同知识产权，产出为发明专利，证明材料见附件4，合作者为：冷先伦、刘世伟。

合作13：一种沿盾构机纵向截面进行调整的刀盘翻转装置，合作方式为共同知识产权，产出为发明专利，证明材料见附件5，合作者为：周思峰、叶钟文、王小云。

合作14：应用于盾构接收端的降水井结构，合作方式为共同知识产权，产出为实用新型专利，证明材料见附件6，合作者为：周思峰、余昌平、杜国涛。

合作15：一种应用于洞门钢环钢套筒上的安装结构，合作方式为共同知识产权，产出为实用新型专利，证明材料见附件7，合作者为：周思峰、杜国涛、余昌平。

合作16：浅议软弱地层浅埋盾构施工地下管线保护措施，合作方式为论文合著，产出为论文，证明材料见附件26，合作者为：叶钟文、王小云。

合作17：小曲线半径盾构管片拼装质量控制，合作方式为论文合著，产出为论文，证明材料见附件27，合作者为：叶钟文、王小云。

**主要完成人合作关系情况汇总表**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 合作方式 | 合作者/排名 | 合作时间 | 合作成果 | 证明材料 | 备注 |
| 1 | 共同获奖 | 汲红旗/1  周思峰/3  余昌平/4  黄斌/5  冷先伦/6  叶钟文/7  王小云/9 | 2014.01-2017.10 | 土压平衡盾构施工成套技术研究 | 附件编号11 |  |
| 2 | 共同获奖 | 汲红旗/1  周思峰/3  叶钟文/4  王小云/6 | 2014.01-2017.10 | 角砾地层中盾构机运行轨迹的神经网络预测与操作参数优化研究 | 附件编号12 |  |
| 3 | 共同获奖 | 汲红旗/1  周思峰/3  叶钟文/4  王小云/6 | 2014.01-2017.10 | 复合地层条件下的隧道注浆浆液配比研究 | 附件编号14 |  |
| 4 | 共同获奖 | 汲红旗/1  周思峰/3  叶钟文/4  王小云/6 | 2014.01-2017.10 | 角砾层及复杂地层中盾构隧道渣土改良技术研究 | 附件编号15 |  |
| 5 | 共同获奖 | 汲红旗/1  周思峰/3  叶钟文/4  王小云/6 | 2014.01-2017.10 | 小间距叠交隧道盾构施工技术研究 | 附件编号16 |  |
| 6 | 共同获奖 | 汲红旗/1  周思峰/3  叶钟文/4  王小云/6 | 2014.01-2017.10 | 角砾层及复杂地层中盾构隧道渣土改良技术研究 | 附件编号18 |  |
| 7 | 共同获奖 | 汲红旗/1  周思峰/3  叶钟文/4  王小云/6 | 2014.01-2017.10 | 小间距叠交隧道盾构施工技术研究 | 附件编号19 |  |
| 8 | 共同获奖 | 周思峰/4  杜国涛/9 | 2014.01-2017.10 | 复合式土压平衡盾构机下穿城市老旧建筑物基础施工技术研究 | 附件编号13 |  |
| 9 | 共同获奖 | 周思峰/3  杜国涛/5 | 2014.01-2017.10 | 土压平衡盾构机穿越多股道京广铁路关键技术研究 | 附件编号17 |  |
| 10 | 共同知识产权 | 叶钟文/1  周思峰/2  王小云/4 | 2014.01-2017.10 | 一种用于盾构施工中渣土改良试验的多孔发泡喷头 | 附件编号1 |  |
| 11 | 共同知识产权 | 刘世伟/1  冷先伦/2 | 2014.01-2017.10 | 一种盾构土体改良泡沫稳定性评价装置及评价方法 | 附件编号3 |  |
| 12 | 共同知识产权 | 冷先伦/1  刘世伟/2 | 2014.01-2017.10 | 一种土压盾构施工中土体泡沫改良剂性能测试设备 | 附件编号4 |  |
| 13 | 共同知识产权 | 周思峰/2  叶钟文/3  王小云/4 | 2014.01-2017.10 | 一种沿盾构机纵向截面进行调整的刀盘翻转装置 | 附件编号5 |  |
| 14 | 共同知识产权 | 周思峰/2  余昌平/3  杜国涛/4 | 2014.01-2017.10 | 应用于盾构接收端的降水井结构 | 附件编号6 |  |
| 15 | 共同知识产权 | 周思峰/3  杜国涛/5  余昌平/7 | 2014.01-2017.10 | 一种应用于洞门钢环钢套筒上的安装结构 | 附件编号7 |  |
| 16 | 论文合著 | 叶钟文/1  王小云/2 | 2014.01-2017.10 | 浅议软弱地层浅埋盾构施工地下管线保护措施 | 附件编号26 |  |
| 17 | 论文合著 | 叶钟文/2  王小云/3 | 2014.01-2017.10 | 小曲线半径盾构管片拼装质量控制 | 附件编号27 |  |